

Энергетический подход к определению технологических режимов при высокоскоростной обработке

*Национальный технический университет «ХАИ»
Харьковское государственное авиационное производственное предприятие
(ХГАПП)*

Разработан метод определения технологических режимов высокоскоростной обработки металлов на основе метода конечных элементов с использованием метода эквивалентных площадей, в котором учтено распределение потока энергии при ограничениях по величине температур и напряжений.

Ключевые слова: высокоскоростное фрезерование, технологические режимы, энергия процесса резания, метод конечных элементов, качество.

Современное машиностроение характеризуется повышением требований к качеству обработки поверхностей деталей. Появление нового высокоскоростного оборудования, инструмента и сверхтвердых барьерных покрытий вызвало необходимость разработки новых технологий обработки сложнопрофильных деталей. Анализ наиболее перспективных методов металлообработки дает возможность утверждать, что высокоскоростное резание может обеспечить искомые характеристики качества изделия. Реализация технологии высокоскоростной обработки (ВСО) – сложный комплексный технологический процесс, который возможен только в рамках сквозного параллельного цикла проектирования-изготовления сложнопрофильного изделия на современном оборудовании. Одной из основных задач на этапе планирования операций ВСО является определение области существования технологических режимов высокоскоростной обработки материалов с учетом физических и механических свойств металлов в целях обеспечения требуемого качества детали. Решение этой задачи можно осуществить в среде САЕ-модуля (методом конечных элементов (МКЭ) на базе программно-методического комплекса DEFORM).

Из анализа современных источников информации нами установлено, что в настоящее время существует много исследований по лезвийной механообработке, однако мало практических работ, направленных на изучение физических и механических особенностей обработки закаленных сталей. Отсутствие понимания физико-механических процессов в зоне обработки привело к разрозненности в рекомендациях производителей режущего инструмента относительно выбора технологических режимов металлообработки.

Исследования физических и физико-механических свойств закаленной хромомолибденовой стали твердостью 42...45 HRCэ в среде САЕ-модуля позволили установить, что чем меньше энергии потребляется в начальный процесс резания и чем быстрее достигается энергетический пик процесса механообработки, тем стабильнее дальнейшее течение и разрушение материала [1]. Такой результат стал основанием для разработки подхода к определению области существования технологических режимов высокоскоростной обработки металлов, в том числе и закаленных сталей, на базе МКЭ.

$$E_1 = \int_0^t f(E)dt . \quad (1)$$

Величину энергии в точке «с», которая соответствует процессу квазиустойчивого резания, определяют по формуле

$$y_1 = \frac{E_1}{t_1} . \quad (2)$$

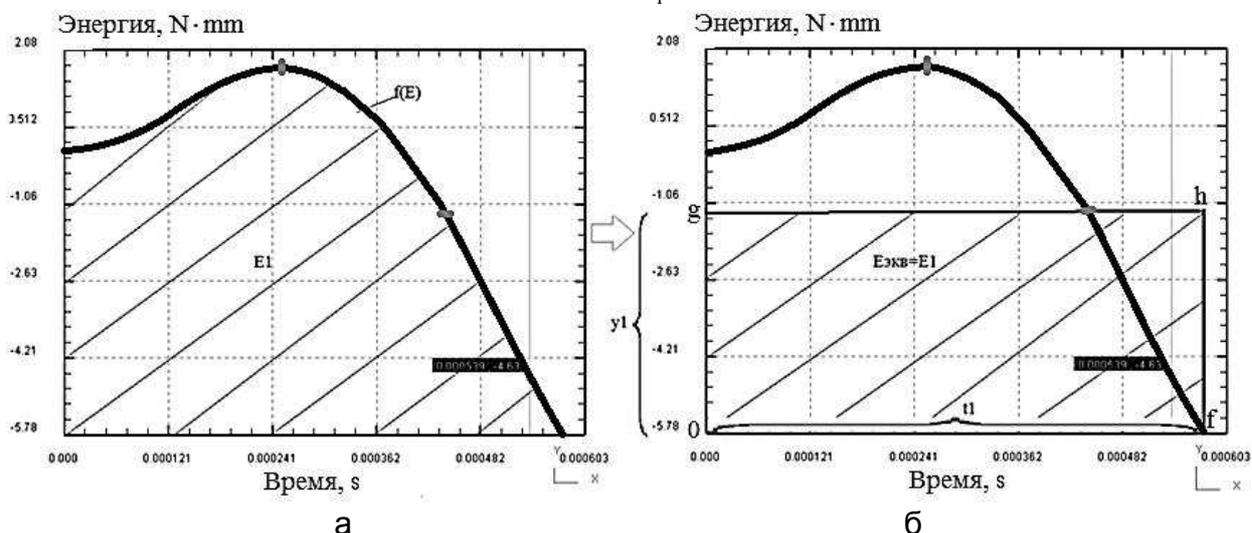


Рис. 2. Определение технологических режимов ВСФ закаленных сталей

Таким образом, определив значения энергии в точке максимума энергетического вклада в процесс резания (точка «б» на рис. 1) и точке, характерной для квазиустойчивого процесса, мы установили границы существования оптимальных технологических режимов процесса ВСО закаленной хромомолибденовой стали. Следовательно, имея численное значение величины энергии необходимой для стабильного течения физических и физико-механических процессов в зоне обработки материала, можно на этапе инженерного анализа осуществлять контроль над процессом управления формированием качественных характеристик обработки любого вида металла.

Необходимо отметить, что разработать простую единую методику определения рациональных технологических режимов ВСО различных материалов пока не представляется возможным. Это объясняется тем, что каждый раз следует моделировать поведение энергетического распределения процесса обработки нового материала, так как поведение, например, вязкоупругих материалов в процессе обработки качественно отличается от поведения закаленных сталей. Попытка использовать универсальную инженерную методику даст большую погрешность, так как приведет к непопаданию в область существования рациональных технологических режимов механообработки для определенного вида материала.

Предложенный энергетический подход позволяет определить диапазон оптимальных значений скорости резания для обработки определенного вида материала, но остается необходимость в определении допустимых глубин резания. Анализ результатов численных компьютерных экспериментов показал, что рациональные режимы обработки можно определить еще и на основании анализа кривых Соломона с ограничением по температуре и по напряжению (рис. 3).

Был проведен ряд экспериментов с применением имитационного моделирования процесса ВСО закаленной стали 38Х2МЮА в среде 3D САЕ-модуля [2], моделирование велось с изменением глубины резания от 0,1 до 0,3 мм (рис. 3). На основе результатов моделирования установили, что диапазон существования режимов ВСО находится в ограниченной области глубин резания (для закаленной хромомолибденовой стали $h=(0.1...0.2)$). С превышением глубины резания выше критической тепловые потоки в зоне обработки растут и превышают предельно допустимые значения, что, в свою очередь, может привести к появлению прижогов и неблагоприятных напряжений растяжения в нарушено-деформированном слое материала. Такой результат был подтвержден результатами экспериментальных исследований (рис. 4). Кроме того, результатом превышения глубины резания является отсутствие области стабильного течения физических и физико-механических процессов в зоне обработки (рис. 3).

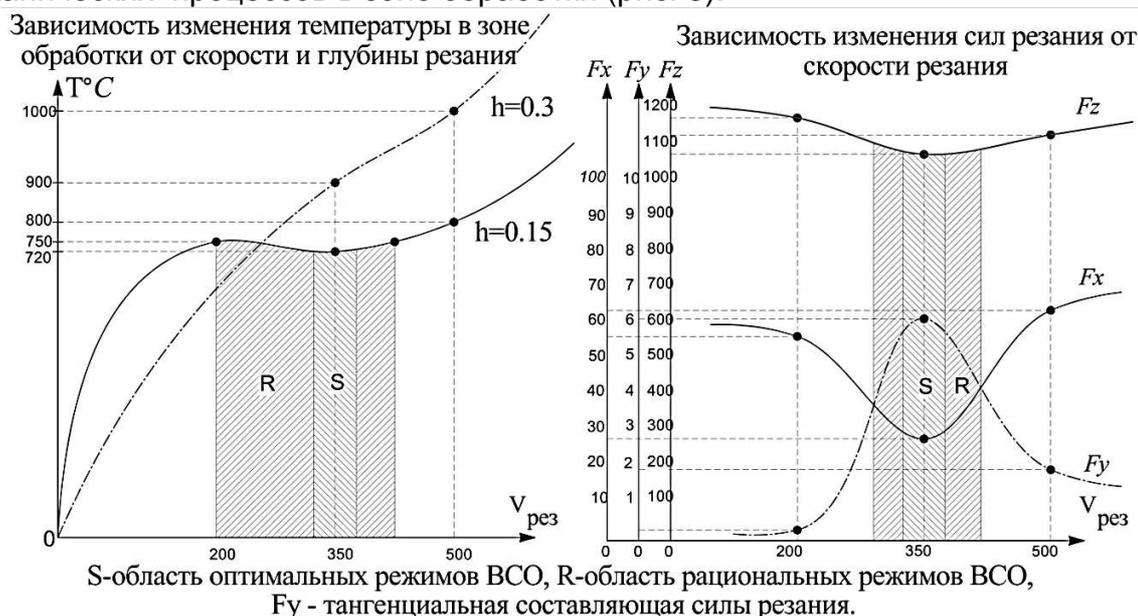


Рис. 3. Зависимость изменений физических параметров от скорости резания

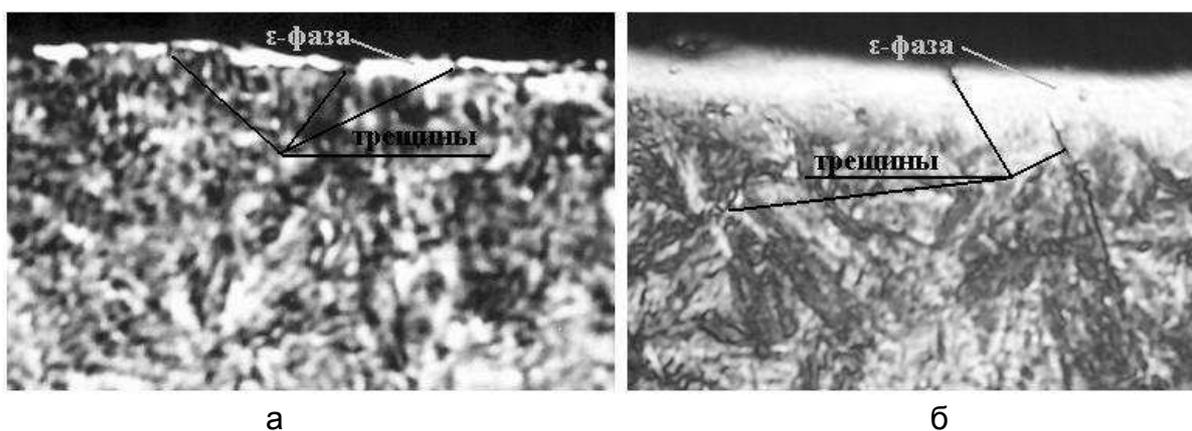


Рис. 4. Изменение структуры прямого шлифа закалённой стали 38Х2МЮА после ВСО ($n=12000$ об/мин, $a_e=0,04$ мм, $S=0,05$ мм/зуб) в зависимости от глубины резания (a_p): а – при $a_p=0,1$ мм – выкрошенный «белый слой» ~ 0,1...3 мкм; б – при $a_p=0,4$ мм «белый слой» ~ 8...20 мкм

После определения ограничений по глубине обработки (рис. 3) и по скорости резания (рис. 2) был проведен ряд исследований (в полученной области ра-

циональных режимов ВСО закаленной стали), направленных на изучение распределения силы резания в зоне обработки. Такой шаг позволил внести поправку в ограничения области существования оптимальных и рациональных режимов ВСО закаленной стали с ограничением по напряжениям и установить, что именно тангенциальная составляющая силы резания имеет определяющее влияние на формирование качественных характеристик обработанного материала. Следовательно, в области существования рациональных режимов ВСО возрастает роль деформационной составляющей процесса механообработки на формирование шероховатости и поверхностной микротвердости металла.

Описанный метод был применен при назначении режимов высокоскоростного фрезерования закаленной стали 38Х2МЮА твердостью 42...45 HRCэ в рамках разработки нового технологического процесса изготовления сложнопрофильного изделия на современном обрабатывающем центре. Полученный результат полностью подтвердил адекватность разработанного метода, что позволило не только улучшить шероховатость обработанной поверхности ($R_a = 0,12...0,16$ мкм), но и обеспечить структуру нарушенного слоя с улучшенными износостойкими характеристиками (рис. 5).

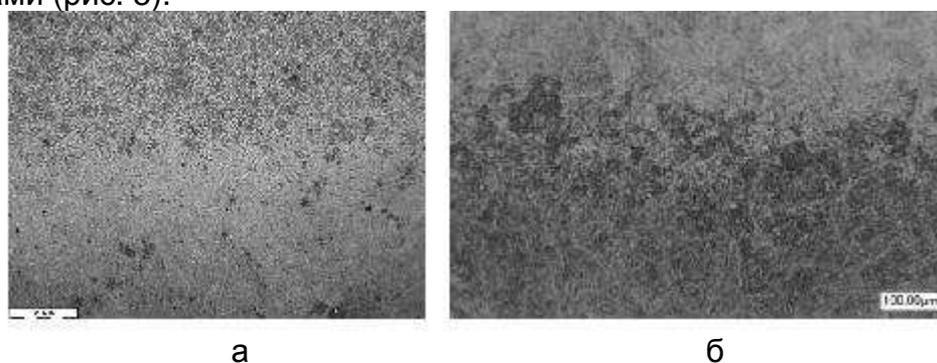


Рис. 5. Структура поверхностного слоя сложнопрофильного изделия из закаленной стали 38Х2МЮА: а – после обработки с традиционными режимами изготовления; б – после технологии ВСФ с определенными режимами

Следовательно, была обоснована возможность определения технологических режимов высокоскоростной обработки сталей на основе метода конечных элементов с учетом распределения потока энергии при ограничениях по температуре и величине напряжений. Такой подход позволяет на этапе инженерного анализа решить задачу оптимизации дорогостоящего процесса ВСО.

Список литературы

1. Добротворский, С.С. Моделирование процесса высокоскоростного фрезерования закалённых сталей методом конечных элементов / С.С. Добротворский, Е.В. Басова, С.А. Щучев // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 55. Х., 2012. – С. 20 – 27.
2. Добротворский, С.С. Исследование влияния технологических параметров процесса высокоскоростного фрезерования на качество обработки закалённых сталей / С.С. Добротворский, Е.В. Басова, Р.И. Соломатин / Открытые информа-

ционные и компьютерные интегрированные технологии: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 60. Х., 2012. – С. 54 – 62.

Рецензент: д.т.н., проф. А.А. Пермяков, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков.

Поступила в редакцию 05.09.2014

Енергетичний підхід до визначення технологічних режимів при високошвидкісному обробленні

Розроблено метод визначення технологічних режимів високошвидкісного оброблення металів на основі методу скінченних елементів з використанням методу еквівалентних площ, який враховує розподіл потоку енергії при обмеженнях за величиною температур і напружень.

Ключові слова: високошвидкісне фрезерування, технологічні режими, енергія процесу різання, метод скінченних елементів, якість.

Energy approach to the definition of technological regimes in HSM

A method for determining high-technological modes of metal-based finite element method using the method of equivalent areas, which allows for distribution of energy flow under the constraints of temperature and voltage values was developed.

Keywords: high-speed milling, technological regimes, the cutting process energy, finite element method, quality.